

ANALISIS REGRESI NON LINEAR PADA DATA PASIEN COVID-19 MENGGUNAKAN METODE BOOTSRAP

Non Linear Regression Analysis on Covid-19 Patient Data Using the Bootstrap Method

Wynona Adita Pradani^{1*}, Adi Setiawan², Hanna Arini Parhusip³

^{1,2,3}Prodi Matematika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Kristen Satya Wacana
 Jln. Diponegoro, No. 52-60, Kota Salatiga, 50711, Indonesia

Corresponding author e-mail: ^{1*} 662016023@student.uksw.edu

Abstrak

Dalam penelitian ini membahas tentang analisis regresi non linier dengan menggunakan data statistik perkembangan pasien positif Covid-19 di Indonesia. Penyakit Covid-19 sangat mudah berkembang penyebarannya sehingga WHO menyatakan penyakit ini sebagai pandemi, dalam penelitian ini menggunakan lima model analisis regresi non linier yaitu model *Weibull* 3 parameter, *Gompertz* 3 parameter, *Log-logistic* 3 parameter, *Log-Logistic* 4 parameter dan model *Logistic* 3 parameter. Analisis yang terbaik dalam memprediksi yaitu *Log-logistic* 3 parameter dengan nilai AIC = 6527.434 dan RMSE = 6836.79, dan diperoleh nilai parameter $\gamma = -2.8207$, $\tau = 966.4000$, dan $A = 19477000$, sehingga pengestimasi parameter dengan menggunakan metode *Bootstrap* $B = 10000$ dengan interval kepercayaan 95% untuk parameter γ , τ , dan A berturut-turut adalah $[-2.851261, -2.778394]$, $[766.7833, 1132.341]$, $[10940098, 29088193]$ maka diperoleh nilai rata-rata estimasi *Bootstrap* $\gamma = -2.81138$, $A = 17633020$, dan $\tau = 922.3411$. Pada data prediksi pasien yang positif Covid-19 akan dibandingkan dengan data pengamatan, dari hasil perbandingan diperoleh nilai MAPE = 9%, sehingga dapat dikatakan pemodelan *Log-logistic* 3 parameter sangat baik dalam memprediksi.

Kata Kunci: Pasien positif Covid-19 di Indonesia, Model Pertumbuhan, Parameter, Metode Bootstrap, Log-logistic 3 parameter

Abstract

In this study discussed the non-linear regression analysis using statistical data on the development of Covid-19 positive patients in Indonesia. Covid-19 disease is so easily developed spread that WHO declared this disease as a pandemic, in this study using five models of non-linear regression analysis namely *Weibull* model 3 parameters, *Gompertz* 3 parameters, *Log-logistic* 3 parameters, *Log-Logistic* 4 parameters and *Logistic* model 3 parameters. The best analysis in predicting is *Log-logistic* 3 parameters with values AIC = 6527.434 and RMSE = 6836.79 and obtained parameter values $\gamma = -2.8207$, $\tau = 966.4000$, and $A = 19477000$, so the optimization of parameters using *bootstrap method* $B = 10000$ with a 95% confidence interval for parameters γ , τ , and A in a row is $[-2.851261, -2.778394]$, $[766.7833, 1132.341]$, then obtained the average value of *Bootstrap* estimate $\gamma = -2.81138$, $A = 17633020$ and $\tau = 922.3411$. In the patient prediction data that is positive Covid-19 will be compared with the observation data, from the comparison results obtained mape value = 9%, so it can be said that *log-logistic* modeling of 3 parameters is very good in predicting.

Keywords: Covid-19 positive patients in Indonesia, Growth Model, Parameters, Bootstrap Method, Log-logistic 3 parameters

Article info:

Submitted: 03rd July 2021

Accepted: 28th August 2021

How to cite this article:

W. A. Pradani, A. Setiawan, and H. A. Parhusip, "ANALISIS REGRESI NON LINEAR PADA DATA PASIEN COVID-19 MENGGUNAKAN METODE BOOTSRAP", *BAREKENG: J. Il. Mat. & Ter.*, vol. 15, no. 03, pp. 453-466, Sep. 2021.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).
 Copyright © 2021 Wynona Adita Pradani, Adi Setiawan, Hanna Arini Parhusip

1. PENDAHULUAN

Pada Desember Tahun 2019, pertama kali ditemukannya kasus *pneumonia* misterius di Kota Wuhan, Provinsi Hubei Negara China, sumber penularan kasus ini pertama kali ditemukan pada sekitaran pasar ikan Kota Wuhan [1]. Awalnya penyakit ini diberikan nama *2019 novel coronavirus* (2019-nCoV), kemudian pada tanggal 11 Febuari 2020 WHO (*World Health Organization*) mengumumkan nama baru untuk penyakit [10] ini yaitu *Coronavirus Disease* (Covid-19) yang disebabkan oleh virus *Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus-2* (SARS-CoV-2) menurut WHO (*World Health Organization*) [11], virus ini dapat ditularkan dari manusia ke manusia dan telah menyebar secara luas hampir di seluruh negara [2].

Pada tanggal 08 Januari 2021 negara Indonesia sudah menetapkan kasus pasien yang dinyatakan positif Covid-19 sebanyak 808.340 pasien dan kasus pasien yang dinyatakan meninggal sebanyak 33.106 pasien. Sehingga diperlukan pengestimasian pada data pasien positif Covid-19 di Indonesia dengan tujuan agar dapat mengetahui prediksi perkembangan data pasien positif pada negara Indonesia, untuk itu pada penelitian ini menggunakan analisis regresi non linear yang dapat memodelkan data pasien positif Covid-19 di Indonesia seperti pada model *Log-logistic*, model *Weibull*, model *Gompertz* dan model *Logistic* [3].

Pada penelitian sebelumnya yang dihasilkan oleh [4] yang melakukan pengelolaan data pada pasien Covid-19 yang menggunakan model *time series* berbasis model pertumbuhan, dikarenakan model tersebut dapat mempresentasikan perkembangan data pandemik Covid-19 di Indonesia, pada penelitian yang kedua oleh [5] yang juga menerapkan model matematika yang dapat memprediksi penyebaran penyakit virus Covid-19 pada kawasan regional Kalimantan yaitu dengan menggunakan model SIR (*Susceptible Infected Recovered*) dan model ini sudah banyak digunakan hampir di seluruh negara dalam memprediksi puncak perkembangan pandemik Covid-19 dan model tersebut sudah diperkenalkan oleh Kermack dan Mc.Kendrick yang telah dipublikasikan pada tahun 1927. Pada penelitian yang ketiga yang dilakukan oleh [6] dengan menggunakan model matematika yang lainnya yaitu model *white box* berbasis *system dynamics* yang bertujuan dapat digunakan untuk memprediksi atau mempresentasikan data pandemik Covid-19, selanjutnya pada penelitian keempat oleh [7] dengan menggunakan model SEIR yang dapat memodelkan penyakit yang menular dan telah dilakukan penelitian sebelum penyakit Covid-19. Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dengan menggunakan kasus yang sama yaitu pada data pasien Covid-19 di Indonesia, maka pada penelitian ini akan dilakukan pengolahan data pasien Covid-19 di Indonesia dengan analisis regresi non linear dengan menggunakan metode *Bootstrap*.

Sehingga dari penjelasan di atas dapat diambil suatu perumusan masalah yaitu apakah analisis regresi non linear dapat lebih efektif dalam memprediksikan perkembangan data pasien yang dinyatakan positif Covid-19 di Indonesia, dan apakah metode *Bootstrap* dapat mengestimasikan parameter pada pemodelan analisis regresi non linear yang terbaik. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data pasien positif Covid-19 di Indonesia dengan periode data yang digunakan pada tanggal 2 Maret 2020 sampai dengan 12 Januari 2021.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini dalam mengestimasikan parameter analisis regresi non linear yaitu metode *Bootstrap* dengan dilakukan perulangan sebanyak $B = 10000$ dengan tingkat kepercayaan 95%. Tujuan dari penelitian ini yaitu dapat mengetahui hasil data prediksi pada perkembangan pasien positif Covid-19 di Indonesia, dan mengetahui apakah model analisis regresi non linear dapat dilakukan pengestimasian parameter dengan menggunakan metode *Bootstrap*.

2. METODE PENELITIAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data pasien positif Covid-19 di Indonesia, dengan melakukan pengambilan data pasien Covid-19 melalui website <https://www.worldometers.info/coronavirus/country/indonesia/> sebagai penyedia data global baik pasien positif Covid-19, pasien yang dinyatakan sembuh dari Covid-19 dan pasien meninggal akibat penyakit virus Covid-19. Data pasien positif Covid-19 yang digunakan diambil mulai pada tanggal 2 Maret 2020 sampai dengan 12 Januari 2021.

Dalam hal ini data dibedakan menjadi dua variabel yaitu variabel bebas (x) yang merupakan data waktu atau tanggal mengenai perkembangan pasien Covid-19 di Indonesia dan variabel tak bebas (y) merupakan data pasien Covid-19 di Indonesia. Berikut merupakan beberapa tahapan-tahapan dalam menganalisis data pasien Covid-19 di Indonesia:

1. Mengambil data dan menentukan variabel bebas dan variabel tak bebas dalam data pasien positif Covid-19 di Indonesia
2. Menggunakan analisis regresi non linear dengan beberapa model pertumbuhan, yang akan digunakan dalam pengolahan data, agar dapat memprediksi perkembangan pasien positif Covid-19 di Indonesia berikut merupakan perumusan pada setiap model yang digunakan dalam penelitian ini:
 - a. Model *Gompertz* 3 parameter

$$N(t) = A \exp(-\exp(\gamma(t - \tau))) \quad (1)$$
 - b. Model *Weibull* 3 parameter

$$N(t) = A \exp(-\exp(\gamma(\log(t) - \log(\tau)))) \quad (2)$$
 - c. Model *Logistic* 3 parameter

$$N(t) = \frac{A}{1 + \exp(\gamma(t - \tau))} \quad (3)$$
 - d. Model *Log-logistic* 3 parameter

$$N(t) = \frac{A}{1 + \exp(\gamma(\log(t) - \log(\tau)))} \quad (4)$$
 - e. Model *Log-logistic* 4 parameter

$$N(t) = S + \frac{S - A}{1 + \exp(\gamma(\log(t) - \log(\tau)))} \quad (5)$$
3. Menentukan analisis model pertumbuhan yang terbaik dalam memprediksi perkembangan pasien yang dinyatakan positif Covid-19 di Indonesia dengan melihat hasil nilai AIC (*Akaike Information Criterion*) dan RMSE (*Root Mean Square Error*), jika diantara pemodelan yang digunakan memiliki nilai AIC dan RMSE terkecil maka dapat dikatakan bahwa pemodelan tersebut merupakan pemodelan pertumbuhan yang terbaik dalam memprediksi data.
4. Mengestimasi setiap parameter model pertumbuhan yang telah ditentukan nilai AIC dan RMSE yang terkecil, maka pemodelan tersebut akan diestimasi parameternya dengan selang tingkat kepercayaan persentil $\alpha = 5\%$ kedalam metode *Bootstrap*. Tujuan pengestimasian parameter dengan *Bootstrap* agar menghasilkan parameter yang lebih baik.

Berikut merupakan cara penerapan metode *Bootstrap* dalam mengestimasi parameter model pertumbuhan:

1. Dimiliki data asli seperti berikut:

$$(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), \dots, (x_n, y_n) \quad (6)$$

Berdasarkan data tersebut diperoleh estimasi A, γ, τ dalam model pertumbuhan

$$Y_i = \frac{A}{1 + \exp(\gamma(t_i - \tau))} + r_i \quad (7)$$

Untuk $i = 1, 2, 3, \dots, n$

2. Dengan menggunakan metode *Bootstrap* $r_1, r_2, r_3, \dots, r_B$ maka akan diperoleh

$$r_1^*, r_2^*, r_3^*, \dots, r_B^*$$

Sehingga dapat dihitung sebagai berikut:

$$Y_i^* = \frac{A}{1 + \exp(\gamma(t_i - \tau))} r_i^* \quad (8)$$

untuk $i = 1, 2, 3, \dots, n$

3. Setelah dilakukan proses di atas maka akan memperoleh data yang baru seperti berikut :

$$(x_1, y_1^*), (x_2, y_2^*), (x_3, y_3^*), \dots, (x_n, y_n^*) \quad (9)$$

Sehingga diperoleh estimasi parameter yang baru dari data yang sudah diperbarui sebagai berikut:

$$A_1^*, \gamma_1^*, \tau_1^* \quad (10)$$

4. Ulangi langkah 1 sampai dengan 3 sebanyak B kali sehingga akan memperoleh estimasi parameter sebagai berikut:

$$\begin{aligned} &A_1^*, \gamma_1^*, \tau_1^* \\ &A_2^*, \gamma_2^*, \tau_2^* \\ &A_3^*, \gamma_3^*, \tau_3^* \\ &\dots \dots \dots \\ &A_B^*, \gamma_B^*, \tau_B^* \end{aligned} \quad (11)$$

5. Setelah dilakukan perulangan kemudian dilakukan penentuan tingkat kepercayaan persentil sebesar $\alpha=5\%$ dengan menggunakan rumus sebagai berikut

$$(1 - \alpha) \times 100\% \quad (12)$$

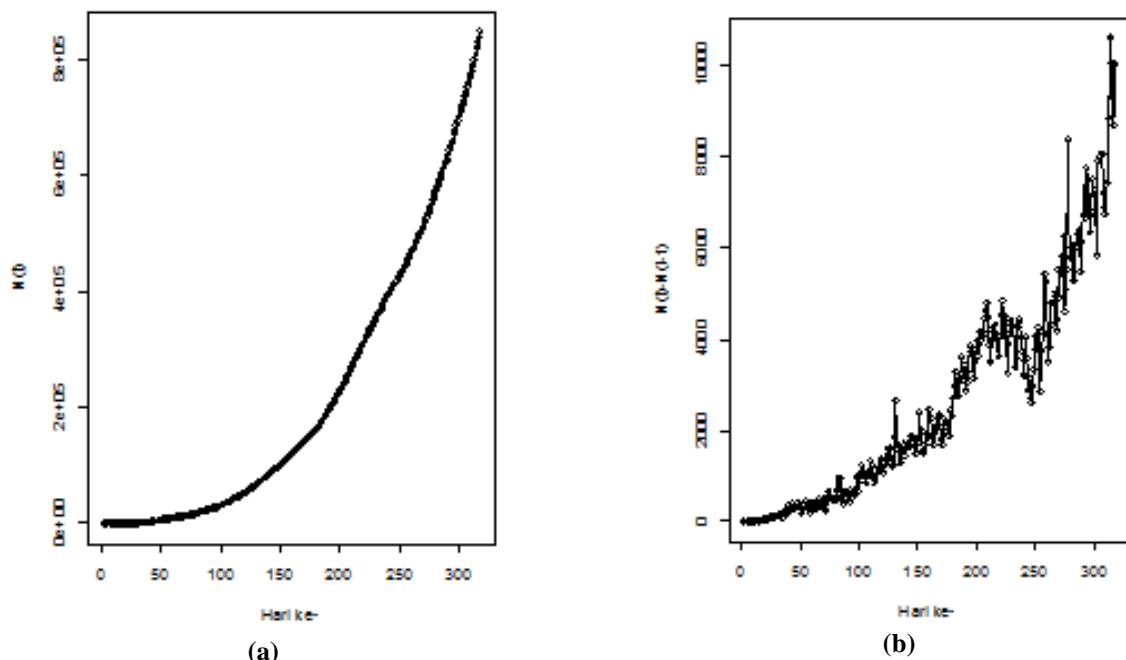
Sehingga akan memperoleh estimasi parameter dalam bentuk seperti berikut :

$$\begin{aligned} &A_{(1)}^*, \gamma_{(1)}^*, \tau_{(1)}^* \\ &A_{(2)}^*, \gamma_{(2)}^*, \tau_{(2)}^* \\ &A_{(3)}^*, \gamma_{(3)}^*, \tau_{(3)}^* \\ &\dots \dots \dots \\ &A_{(B)}^*, \gamma_{(B)}^*, \tau_{(B)}^* \end{aligned} \quad (13)$$

Dalam penarikan kesimpulan pada penelitian ini diperlukannya metode *Bootstrap* yang berguna untuk mengestimasi parameter setiap model pertumbuhan yang digunakan dalam penelitian ini sehingga diperoleh nilai interval kepercayaan persentil dalam hasil prediksi perkembangan pasien Covid-19 di Indonesia, dan dapat diambil kesimpulan bahwa model yang memiliki nilai AIC (*Akaike Information Criterion*) dan RMSE (*Root Mean Square Error*) terkecil merupakan model pertumbuhan yang terbaik dalam memprediksi perkembangan virus Covid-19 di Indonesia.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada subab ini, penulis akan menjelaskan mengenai hasil dari penelitiannya yang disertai dengan pembahasan mengenai penelitiannya tersebut. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data pasien positif Covid-19 di Indonesia, yang masing-masing data diwakili dengan variabel x dan y , dengan variabel x yang merupakan variabel bebas sehingga dapat mewakili data yang berupa waktu tanggal pertambahan pasien positif Covid-19 di Indonesia, sedangkan variabel y merupakan variabel tak bebas yang mewakili data jumlah banyaknya pasien Covid-19 di Indonesia.



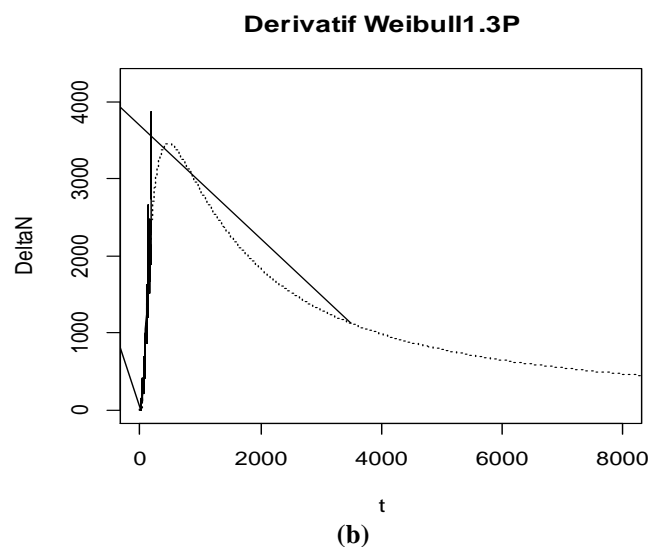
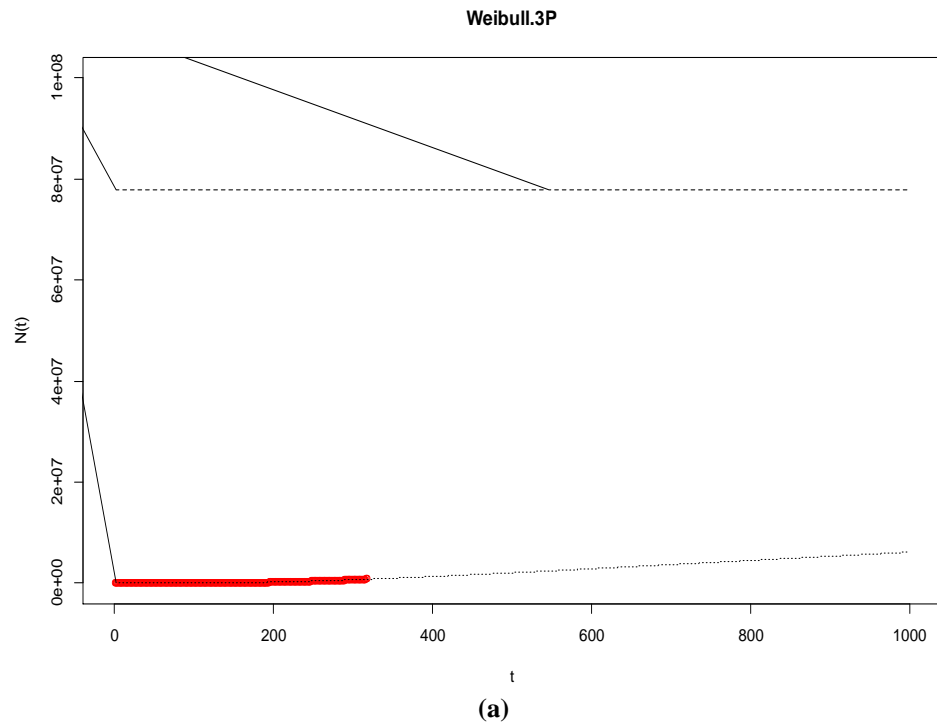
Gambar 1: (a). Hubungan antara waktu t dengan $N(t)$, (b). Hubungan antara waktu t dengan $N(t) - N(t-1)$

Pada Gambar 1(a) dan Gambar 1(b) dapat dilihat bahwa hubungan antara waktu t dengan $N(t)$ menunjukkan banyaknya pasien positif Covid-19 untuk setiap waktu t dan hubungan antara waktu t dengan $N(t) - N(t-1)$ menunjukkan adanya pertambahan banyaknya pasien positif Covid-19 untuk setiap waktu t . dapat dilihat bahwa model yang dinyatakan dengan $N(t)$ merupakan model yang mempunyai garis *asimtotik*, sehingga hal tersebut dapat dinyatakan oleh kelima analisis model yang akan dipergunakan dalam penelitian ini yaitu analisis model *Weibull* 3 parameter, *Gompertz* 3 parameter, *Log-logistic* 3 parameter, *Log-Logistic* 4 parameter, dan model *Logistic* 3 parameter.

3.1. Model Weibull 3 Parameter

Model *Weibull* tiga parameter yang dipergunakan dalam penelitian ini memiliki fungsi penting seperti pada persoalan kendalan (*reliability*) dan analisis rawatan (*maintainability*) [12].

Berdasarkan data yang telah dimasukkan ke dalam program *software R* versi 3.6.3 dengan menggunakan *library packages drc* diperoleh nilai estimasi parameter dengan model *Weibull* 3 parameter yaitu $\gamma = -0.5149$, $\tau = 6106.100$, dan $A = 77897000$, sehingga dari parameter tersebut diperoleh nilai $AIC = 6864.19$, $RMSE = 11609.32$ dan $R^2 = 0.99762$, maka dari hasil pengestimasian parameter pada model *Weibull* 3 parameter diperoleh total banyaknya pasien positif Covid-19 di Indonesia dengan parameter $N(t)$ mencapai 77.897.000 pasien dengan waktu yang tidak dapat ditentukan.



Gambar 2. (a). Grafik Sigmoid Model Weibull 3 Parameter, (b). Grafik Pertambahan Pasien Positif Covid-19 Perhari dengan Model Weibull 3 Parameter

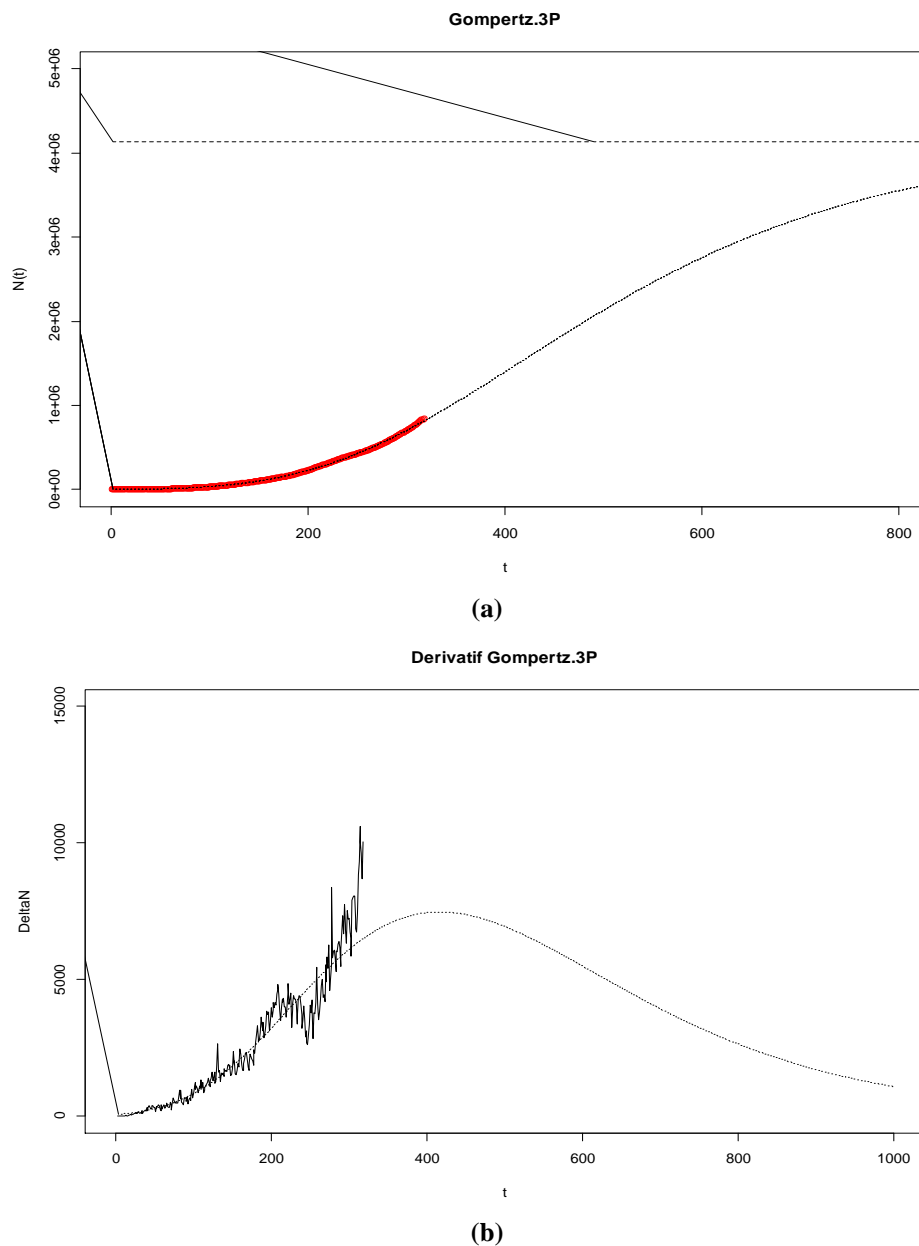
Pada Gambar 2(a) memperlihatkan hasil grafik yang sigmoid yang merupakan data asli pasien positif Covid-19, terhitung pengamatan mulai tanggal 2 Maret 2020 (hari pertama) sampai dengan 12 Januari 2021 (hari ke-318), dari gambar tersebut juga menunjukkan data pasien positif Covid-19 di Indonesia mencapai 836.718 pasien, dan dalam Gambar 2(a) menunjukkan banyaknya pasien positif Covid-19 dengan parameter

$N(t)$ mencapai 77.897.000, sedangkan pada Gambar 2(b) memperlihatkan bahwa waktu maksimum pertambahan pasien positif Covid-19 mencapai pada tanggal 06 Mei 2023.

3.2. Model Gompertz 3 Parameter

Model *Gompertz* tiga parameter yang dipergunakan dalam penelitian ini memiliki kelebihan yaitu dalam tingkat keakuratan memprediksi serta memiliki nilai interpretasi yang baik dalam menjelaskan pertumbuhan penyakit Covid-19 di Indonesia [13].

Berdasarkan model pertumbuhan *Gompertz* 3 parameter diperoleh nilai estimasi parameter yaitu $\gamma = -0.0049199$, $\tau = 416.4900$, dan $A = 4131300$ sehingga dari parameter tersebut diperoleh nilai $AIC = 6618.109$, $RMSE = 7884.429$ dan $R^2 = 0.99890$. Dari hasil pengamatan pada model *Gompertz* 3 parameter diperoleh banyaknya pasien positif Covid-19 di Indonesia dengan parameter $N(t) = 41.313.000$ sampai dengan waktu yang tidak dapat ditentukan.



Gambar 3. (a). Grafik Sigmoid Model Gompertz 3 Parameter, (b). Grafik Pertambahan Pasien Positif Covid-19 Perhari dengan Model Gompertz 3 Parameter

Pada Gambar 3(a) memperlihatkan hasil grafik yang berbentuk *Sigmoid* yang merupakan data asli pasien Covid-19 di Indonesia dengan menggunakan model *Gompertz* 3 parameter, dengan data pengamatan

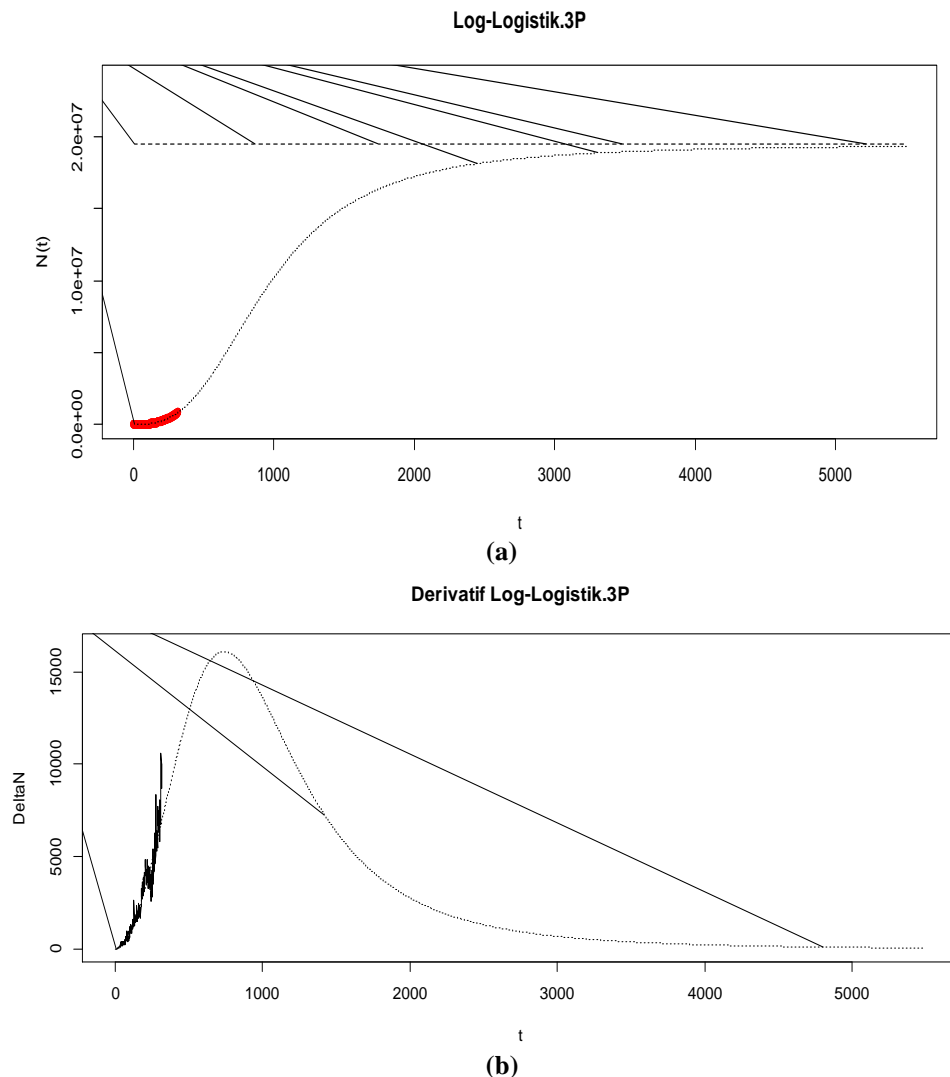
terhitung mulai tanggal 2 Maret 2020 (hari pertama) sampai dengan 12 Januari 2021 (hari ke-318), yang mana pada Gambar 3(a) menunjukkan data pasien positif Covid-19 di Indonesia mencapai 836.718 pasien, dan pada Gambar 3(a) juga memperlihatkan bahwa banyaknya pasien positif Covid-19 dengan parameter $N(t) = 41.313.000$.

Pada Gambar 3(b) memperlihatkan bahwa waktu maksimum meningkatnya pertambahan pasien positif terkena penyakit virus Covid-19 mencapai pada tanggal 03 Maret 2022.

3.3. Model *Log-logistic* 3 Parameter

Model *Logistic* adalah model pertumbuhan populasi yang dapat terkait dengan kepadatan suatu data, sehingga dapat mencerminkan pengaruh dari persaingan intraspesifik. Penghambatan pertumbuhan populasi dapat dijelaskan secara matematika dengan menambahkan variabel yang menjelaskan pengaruh kepadatan ke dalam persamaan eksponensial [14].

Pada model *Log-logistic* 3 parameter dalam penelitian ini menggunakan 3 parameter, jumlah parameter yang digunakan sama dengan parameter model sebelumnya yaitu model *Weibull* dengan 3 parameter dan model *Gompertz* 3 parameter. Persamaan jumlah parameter model *Gompertz*, model *Weibull* dan model *Log-logistic* 3 parameter berguna agar pada saat memodelkan data, dapat mempermudah melihat hasil yang signifikan pada jumlah nilai *RMSE* (*Root Mean Square Error*). Berdasarkan model *Log-logistic* 3 parameter diperoleh nilai estimasi parameter yaitu $\gamma = -2.8027$, $\tau = 966.4000$, dan $A = 19477000$, sehingga dari parameter tersebut diperoleh nilai $AIC = 6489.2594$, $RMSE = 6867.369$ dan $R^2 = 0.999163$.



Gambar 4. (a). Grafik *Sigmoid* Model *Log-logistic* 3 Parameter, (b). Grafik Pertambahan Pasien Positif Covid-19 Perhari dengan Model *Log-logistic* 3 Parameter

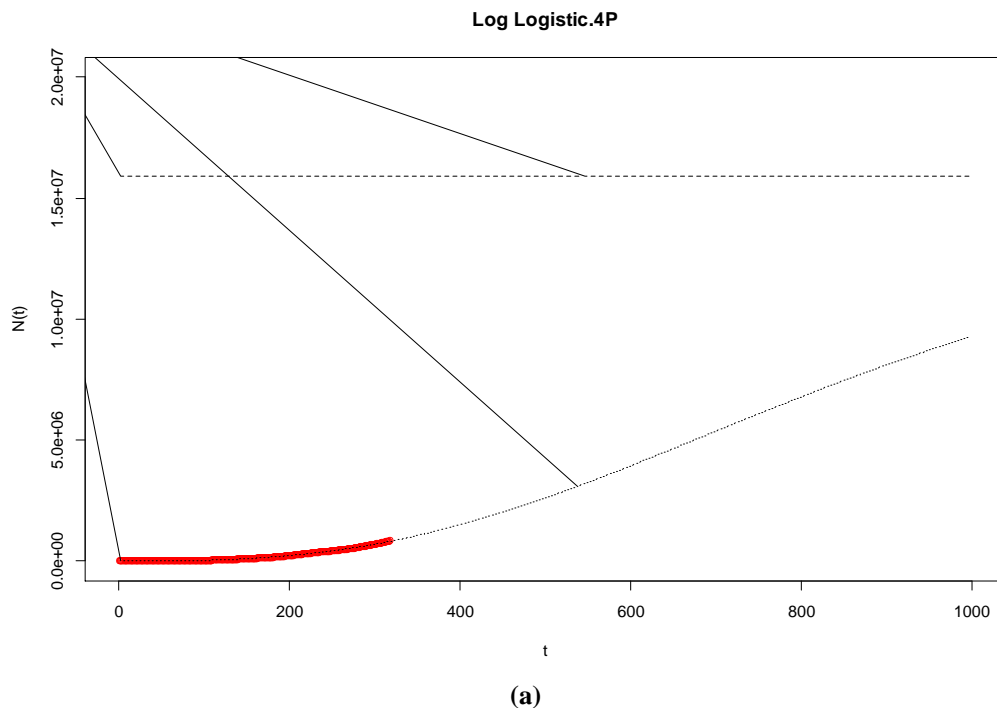
Pada Gambar 4(a) memperlihatkan hasil grafik yang berbentuk *Sigmoid* yang merupakan data asli dari data pasien positif Covid-19 di Indonesia dengan model yang digunakan yaitu model *Log-logistic* 3 parameter, dan dari hasil pengamatan pada Gambar 4(a) memperlihatkan banyaknya pertambahan pasien positif Covid-19 di Indonesia, dengan parameter $N(t) = 19.477.000$ diketahui bahwa total pertambahan pasien positif Covid-19 di Indonesia tidak dapat diperkirakan waktunya, sedangkan pada Gambar 4(b) memperlihatkan bahwa waktu pertambahan maksimum pada pasien positif Covid-19 di Indonesia yaitu sampai dengan tanggal 11 Maret 2022. Pada tabel di bawah merupakan tabel kumulatif prediksi perkembangan pasien Covid-19 di Indonesia dalam jangka waktu yang dekat, yang diprediksikan pada tanggal 3 April 2021 sampai dengan 1 Juni 2021.

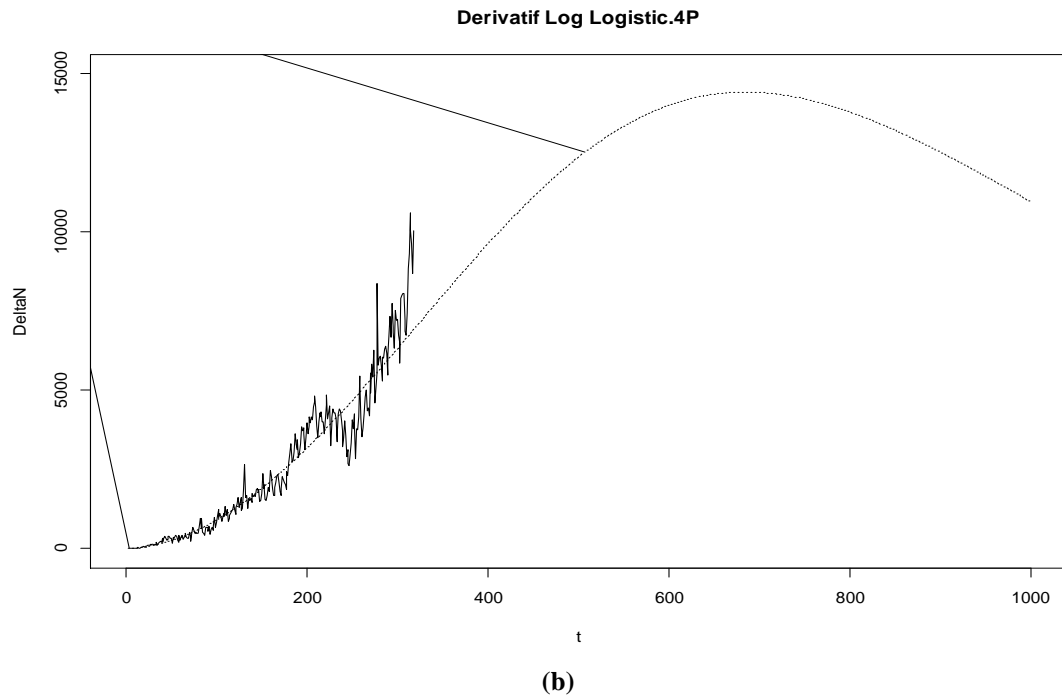
Tabel 1. Prediksi Model *Log-logistic* 3 Parameter Banyaknya Pasien yang Dinyatakan Positif Covid-19 Kumulatif

Tanggal	Jumlah Pasien	Tanggal	Jumlah Pasien	Tanggal	Jumlah Pasien
3 April 2021	1486529	23 April 2021	1687060	13 Mei 2021	1900668
4 April 2021	1496239	24 April 2021	1697433	14 Mei 2021	1911684
5 April 2021	1505983	25 April 2021	1707839	15 Mei 2021	1922732
6 April 2021	1515760	26 April 2021	1718277	16 Mei 2021	1933811
7 April 2021	1525571	27 April 2021	1728748	17 Mei 2021	1944922
8 April 2021	1535415	28 April 2021	1739252	18 Mei 2021	1956064
9 April 2021	1545293	29 April 2021	1749787	19 Mei 2021	1967237
10 April 2021	1555204	30 April 2021	1760356	:	:
11 April 2021	1565148	1 Mei 2021	1770956	1 Juni 2021	2115308

3.4 Model *Log-logistic* 4 Parameter

Pada model *Log-logistic* 4 parameter diperoleh estimasi parameter yaitu $\gamma = -2.837400$, $\tau = 887.5000$, $A = 15896000$ dan $S = 889,6900$ sehingga dari parameter tersebut diperoleh nilai $AIC = 6536,225$, $RMSE = 6909,747$ dan $R^2 = 0,99915$.



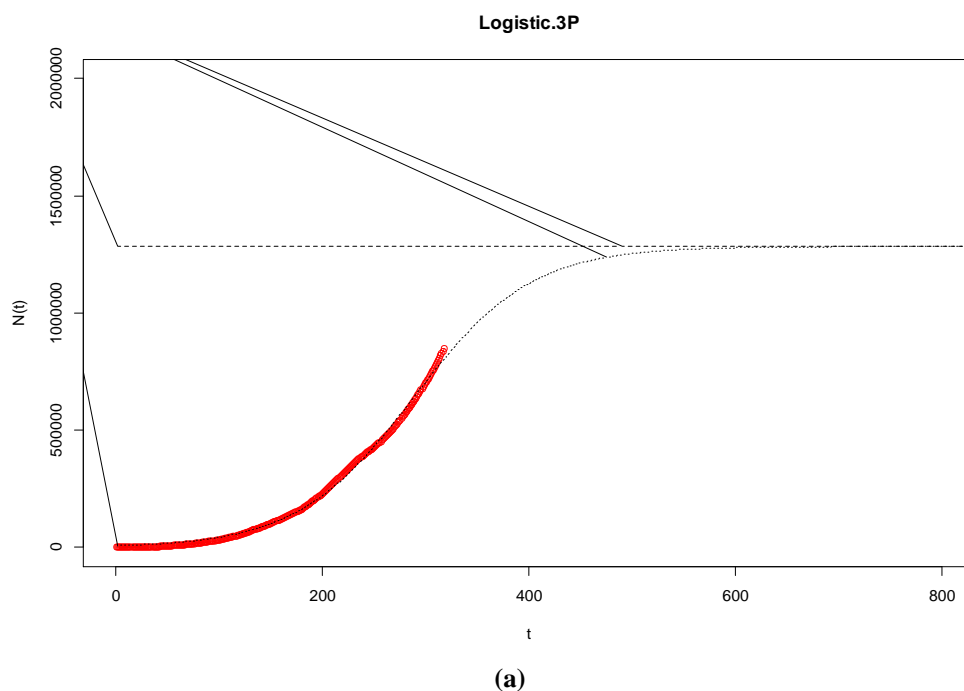


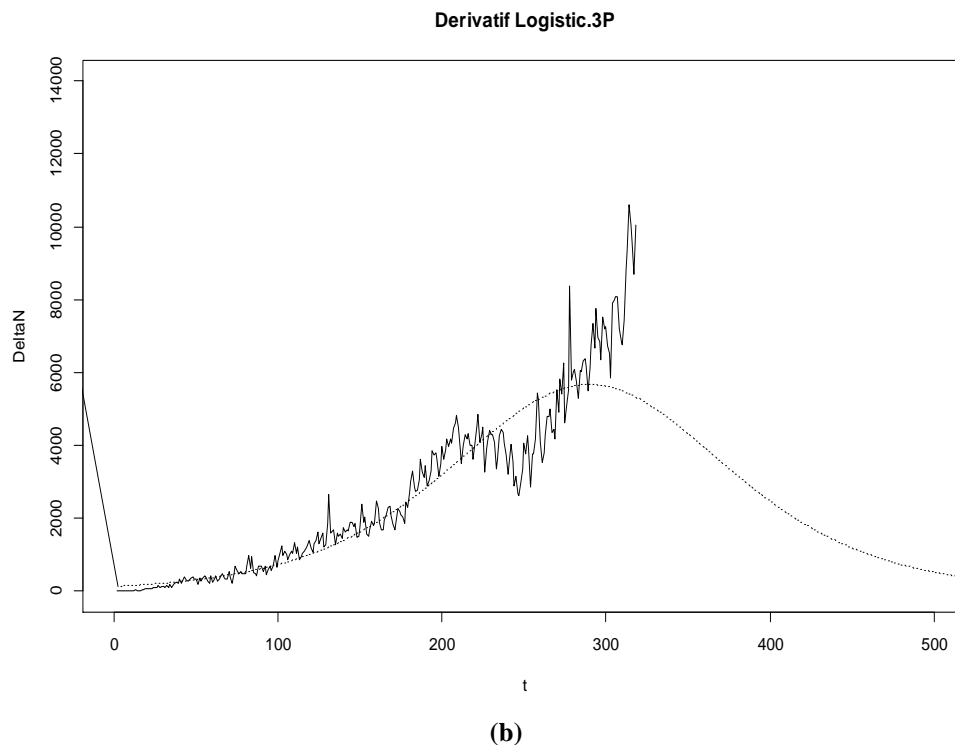
Gambar 5. (a). Grafik Sigmoid Model Log-logistic 4 Parameter, (b). Grafik Pertambahan Pasien Positif Covid-19 Perhari dengan Model Log-logistic 4 Parameter

Pada Gambar 5(a) memperlihatkan hasil grafik *Sigmoid* yang merupakan data asli pasien positif Covid-19, yang dimana Gambar 5(a) memperlihatkan bahwa banyaknya pasien dengan parameter $N(t) = 15.896.000$ sampai dengan waktu yang tak terhingga. Pada Gambar 5(b) memperlihatkan bahwa waktu maksimum pertambahan pasien positif Covid-19 di Indonesia sampai dengan tanggal 27 November 2022.

3.5. Model Logistic 3 Parameter

Pada model *Logistic* 3 parameter dalam penelitian ini diperoleh nilai estimasi parameter yaitu $\gamma = 0.017677$, $\tau = 289.1600$, $A = 1283500$ sehingga dari parameter tersebut diperoleh nilai $AIC = 6924.709$, $RMSE = 12768.28$ dan $R^2 = 0.99712$.





Gambar 6 : (a). Grafik Sigmoid Model Logistic 3 Parameter, (b). Grafik Pertambahan Pasien Positif Covid-19 Perhari dengan Model Logistic 3 Parameter

Pada Gambar 6(a) memperlihatkan hasil grafik *Sigmoid* yang merupakan data asli pasien positif Covid-19 di Indonesia dengan pengambilan data pada tanggal 2 Maret 2020 sampai dengan 12 Januari 2021, dan dari hasil pengamatan pada Gambar 6(a) yang menggunakan model *Logistic 3* parameter memperoleh parameter yang memperlihatkan bahwa banyaknya pasien dengan parameter $N(t) = 1.283.500$ sampai dengan waktu yang tak terhingga.

Pada Gambar 6(b) memperlihatkan bahwa hasil pertambahan pasien sampai dengan maksimum mencapai pada tanggal 28 Oktober 2021. Dalam penelitian yang sudah dilakukan dengan menggunakan analisis regresi non linear, diperoleh model pertumbuhan yang terbaik dari kelima model pertumbuhan yang dipergunakan dalam penelitian ini yaitu dengan melihat perbandingan *AIC* (*Akaike Information Criterion*), dan nilai *RMSE* (*Root Mean Square Error*) jika diantara pemodelan yang dipergunakan terdapat nilai *AIC* dan *RMSE* terkecil maka dapat dikatakan bahwa pemodelan tersebut merupakan pemodelan yang terbaik dalam memprediksi perkembangan penyakit virus Covid-19 di Indonesia [10].

Tabel 2. Hasil Estimasi Parameter, AIC, RMSE dari Beberapa Pemodelan Pertumbuhan.

Model	$N(t)$	γ	τ	A	S	AIC	RMSE
G3p	41.313.000	-0.0049199	416.4900	4131300		6618.109	7884.429
W3p	77.897.000	-0.51498	6106.100	77897000		6864.19	11609.32
LL3p	19.477.000	-2.8027	966.4000	19477000		6489.259	6867.369
LL4p	15.896.000	-2.837400	887.5000	15896000	889.6900	6536.225	6909.747
L3p	1.283.500	-0.017677	289.1600	1283500		6924.709	12768.28

Pada Tabel 3, dapat diketahui bahwa analisis regresi non linier yang terbaik dalam memprediksi perkembangan pasien positif Covid-19 di Indonesia yaitu pemodelan **Log-logistic 3 parameter**.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan diperoleh pemodelan yang terbaik yaitu model **Log-logistic 3 parameter**, maka hasil data prediksi pada pemodelan yang terbaik dalam penelitian ini akan dibandingkan dengan data pengamatan, dengan tujuan agar mengetahui nilai kesalahan dalam memprediksi

data sehingga akan digunakan perhitungan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) pada data yang akan dibandingkan, perhitungan ini dapat memberikan petunjuk seberapa besar kesalahan peramalan pada data yang sebenarnya.

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{Y_t - \bar{Y}_t}{Y_t}}{n} \times 100$$

Dengan :

n = Banyaknya Data,
 Y_t = Data Pengamatan,
 \bar{Y}_t = Data Prediksi

Menurut penelitian [8] yang mengatakan bahwa jika nilai MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) lebih rendah nilainya maka kemampuan dari pemodelan tersebut dapat dikatakan pemodelan yang sangat baik dalam memprediksikan data pasien positif Covid-19 di Indonesia, sehingga untuk menentukan apakah model yang digunakan dalam penelitian ini merupakan model analisis yang terbaik dalam memprediksikan suatu data atau tidak baik dalam memprediksikan suatu data, maka dapat dilihat pada tabel range MAPE dibawah ini:

Tabel 3. Tabel Range MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*)

Range	Arti
< 10%	kemampuan analisis prediksi sangat baik
10% - 20%	kemampuan analisis prediksi baik
20% - 50%	kemampuan analisis prediksi layak
> 50%	kemampuan analisis prediksi buruk

Hasil data prediksi pada model **Log-logistic 3 parameter** menghasilkan nilai MAPE sebesar 9% maka dapat dikatakan bahwa model **Log-logistic 3 parameter** merupakan pemodelan yang sangat baik dalam memprediksikan data pasien Covid-19 di Indonesia.

3.6. Metode *Bootstrap*

Pada bagian ini akan dilakukan pengestimasi parameter dengan menggunakan metode *Bootstrap*, pada pemodelan yang sudah dikatakan sebagai pemodelan yang terbaik dalam memprediksi perkembangan data pasien positif Covid-19 di Indonesia yaitu model pertumbuhan **Log-logistic 3 parameter**, model tersebut terpilih sebagai pemodelan yang terbaik dikarenakan nilai AIC (*Akaike Information Criterion*) dan nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) yang diperoleh lebih kecil dibandingkan dengan pemodelan yang lainnya. Pengestimasi dengan menggunakan metode *Bootstrap* bertujuan agar mendapatkan hasil yang lebih baik atau akurat dalam memprediksi data pasien positif Covid-19 di Indonesia, dan penggunaan metode *Bootstrap* juga bertujuan dalam mengestimasi suatu parameter, dikarenakan hasil penelitian tidak dapat memenuhi asumsi suatu data dalam skala besar [15].

Pengestimasi parameter akan dilakukan sebanyak $B = 10000$ kali dengan tingkat selang kepercayaan persentil sebesar $\alpha = 5\%$. Hasil pengestimasi parameter dengan menggunakan metode *Bootstrap* pada model pertumbuhan **Log-logistic 3 parameter** dapat dilihat melalui tabel berikut:

Tabel 4. Pengestimasi Parameter Log-logistic 3 Parameter Menggunakan Metode *Bootstrap* dengan Resampling $B = 10000$

Parameter	Estimasi Parameter LL 3P	Estimasi Parameter <i>Bootstrap</i>	Interval Kepercayaan $\alpha = 5\%$	
			Bawah	Atas
γ	-2.8027	-2.81138	-2.851261	-2.778394
A	19477000	17633020	10940098	29088193
τ	966.4000	922.3411	766.7833	1132.341

Dari Tabel 4 yang merupakan hasil nilai perbandingan estimasi parameter pada metode *Bootstrap* dengan estimasi pada analisis regresi non linier yaitu model pertumbuhan *Log-logistic* 3 parameter yang memperlihatkan bahwa hasil yang diperoleh berfluktuasi. Hal ini wajar terjadi dikarenakan beberapa faktor yaitu dengan menggunakan metode *Bootstrap* pada penelitian ini akan terdapat suatu fluktuasi pada setiap replikasi *Bootstrap*, terjadinya fluktuasi pada penelitian dapat disebabkan oleh adanya perulangan yang dilakukan pada data, seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya bahwa saat melakukan perulangan atau *resampling* pada setiap sampel data memiliki peluang yang sama untuk dapat diambil kembali menjadi sampel yang baru, akan tetapi sampel data yang dipilih tidak dapat dipastikan akan menjadi sampel data yang terpilih kembali [9].

Sehingga kemungkinan nilai rata-rata dan ragam sampel data dapat mengalami perubahan nilai yang cukup besar, perubahan ini akan mempengaruhi nilai estimasi parameter dengan menggunakan metode *Bootstrap* dan hasil nilai batasan atas dan batasan bawah pada selang kepercayaan persentil.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berisikan tentang pengolahan data pasien positif Covid-19 di Indonesia dengan periode tanggal 2 Maret 2020 sampai dengan 12 Januari 2021. Penelitian ini menggunakan model analisis regresi non linier dengan menggunakan metode *Bootstrap*. Dari hasil penelitian yang telah diteliti dan diperoleh kesimpulan bahwa model pertumbuhan dapat memprediksi perkembangan data pasien positif Covid-19 di Indonesia, pemodelan pertumbuhan yang terbaik dalam memprediksi perkembangan data pasien positif Covid-19 di Indonesia yaitu pemodelan *Log-logistic* 3 parameter dengan nilai parameter yang diperoleh yaitu $\gamma = -2.8207$, $\tau = 966.4000$, $A = 19477000$ serta nilai kebaikan koefisien yang diperoleh pada model *Log-logistic* 3 parameter yaitu AIC sebesar 6489.259 dan RMSE sebesar 6867.369. Hasil prediksi perkembangan data pasien positif Covid-19 di Indonesia pada tanggal 1 Juni 2021 mencapai 2115308 pasien dengan hasil MAPE 9% sehingga dapat dikatakan bahwa hasil prediksi sangat baik dikarenakan nilai *error* yang kecil. Metode *Bootstrap* pada penelitian ini dapat mengestimasi parameter-parameter pada model *Log-logistic* 3 parameter sehingga diperoleh estimasi titik untuk parameter γ , τ dan A berturut-turut adalah -2.81138, 922.3411, dan 17633020 sedangkan interval kepercayaan 95% untuk parameter γ , τ dan A berturut-turut adalah $[-2.851261, -2.778394]$, $[766.7833, 1132.341]$ dan $[10940098, 29088193]$.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Rothan.A. and S. Byrareddy.N., "The epidemiology and pathogenesis of coronavirus disease (COVID-19) outbreak," *J. Autoimmun.*, vol. 109, no. February, p. 102433, 2020, doi: 10.1016/j.jaut.2020.102433.
- [2] W. H. Organization, "Coronavirus disease 2019 (COVID-19) Situation Report-70," *J. Intern. Med. Taiwan*, vol. 31, no. 2, pp. 61–66, 2020, [Online]. Available: https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200330-sitrep-70-covid-19.pdf?sfvrsn=7e0fe3f8_4. [Diakses: 15 Agustus 2020]
- [3] A. Oczyszczanie, P. Do, and P. Biodiesla, "Auka Rzyroda Echnologie," 2012.
- [4] N. Nuraini, K. Khairudin, and M. Apri, "Modeling Simulation of COVID-19 in Indonesia based on Early Endemic Data," in *Communication in Biomathematical Sciences*, vol. 3, no. 1, 2020, pp. 1–8.
- [5] R. Teguh, A. S. Sahay, and F. F. Adji, "Pemodelan Penyebaran Infeksi Covid-19 Di Kalimantan, 2020," *J. Teknol. Inf. J. Keilmuan dan Apl. Bid. Tek. Inform.*, vol. 14, no. 2, pp. 171–178, 2020, doi: 10.47111/jti.v14i2.1229.
- [6] D. Ibarra-Vega, "Lockdown, one, two, none, or smart. Modeling containing covid-19 infection. A conceptual model," *Sci. Total Environ.*, vol. 730, no. April, p. 138917, 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138917.
- [7] B. Tang et al., "Estimation of the Transmission Risk of the 2019-nCoV and Its Implication for Public Health Interventions," pp. 1–13, 2019.
- [8] M. A. Maricar, "Analisa Perbandingan Nilai Akurasi Moving Average dan Exponential Smoothing untuk Sistem Peramalan Pendapatan pada Perusahaan XYZ," *J. Sist. dan Inform.*, vol. 13, no. 2, pp. 36–45, 2019.
- [9] D. Annisa, "Estimasi Parameter Model Regresi Linier dengan Teknik Bootstrap," *J. Mat. UNAND*, vol. 3, no. 3, pp. 41–49, 2009.
- [10] World Health Organization. Naming the coronavirus disease (COVID-19) and the virus that causes it [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2020 [cited 2020 September 07]. Available from: [https://www.who.int/emergencies/diseases/novelcoronavirus-2019/technical-guidance/naming-the-coronavirus-disease-\(covid-2019\)-and-the-virus-that-causes-it](https://www.who.int/emergencies/diseases/novelcoronavirus-2019/technical-guidance/naming-the-coronavirus-disease-(covid-2019)-and-the-virus-that-causes-it). [Diakses : 3 September 2020]
- [11] World Health Organization. Coronavirus disease 2019 (COVID-19) Situation Report-70 [Internet]. WHO; 2020 [updated 2020 March 30; cited 2020 September 07]. Available from: https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200330-sitrep-70-covid-19.pdf?sfvrsn=7e0fe3f8_2. [Diakses : 3 September 2020]
- [12] Otaya, L. G. (2016). Distribusi Probabilitas Weibull Dan Aplikasinya. *Jurnal Manajemen Pendidikan Islam*, 4(2), 44–66.

- [13] Brown, J. E., Fitzhugh, H. A., & Cartwright, T. C. (1976). A Comparison of Nonlinear Models for Describing Weight-Age Relationships in Cattle1. *Journal of Animal Science*, 42(4), 810–818. <https://doi.org/10.2527/jas1976.424810x>
- [14] Fitriani, V. N., & Purnomo, K. D. (2013). Estimasi Solusi Model Pertumbuhan Logistik dengan Metode Ensemble Kalman Filter Solution Estimation of Logistic Growth Model with Ensemble Kalman Filter Method. *Jurnal Ilmu Dasar*, 14(2), 85–90.
- [15] Setiawan, T. A., Satria, R., & Syukur, A. (2015). Integrasi Metode Sample Bootstrapping dan Weighted Principal Component Analysis untuk Meningkatkan Performa K Nearest Neighbor pada Dataset Besar. *Journal of Intelligent Systems*, 1(2), 76–81.

